

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D. 07 DEC 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 55 836.5

Anmeldetag: 26. November 2003

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
60488 Frankfurt/DE

Bezeichnung: Verfahren zum analogen Regeln oder Steuern
der Stoßelkraft und damit des Durchflusses
in hydraulischen Ventilen

IPC: F 15 B, B 60 T

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. September 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wolner

Continental Teves AG & Co. oHG

26.11.2003

P 10754

GP/BR/ad

W. Jöckel

M. Heinz

M. Engelmann

W. Fey

Verfahren zum analogen Regeln oder Steuern der Stößelkraft und damit des Durchflusses in hydraulischen Ventilen

Es ist bekannt, in ABS-Steuergeräten für Kraftfahrzeugbremsysteme, aber auch in sogenannten Fahrdynamikreglern mit zusätzlichen Funktionen wie ESP etc., elektromagnetisch ansteuerbare Ventile zur Regelung des Hydraulikdrucks einzusetzen.

Bei neueren Generationen von Hydraulikregelvorrichtungen werden sogenannte Analog/Digital-Ventile eingesetzt. Ein Analog/Digitalventil ist ein Schaltventil, welches so betrieben wird, dass analoge Regeleigenschaften besitzt. Dieses Ventil ist so konstruiert, dass es sowohl analog als auch digital betrieben werden kann.

Ein Verfahren zur Erkennung des Schaltpunktes des Ventils, insbesondere zur Bestimmung der Druckverhältnisse aus dem Stromverlauf des Ventilansteuerstromes geht aus der EP 0 813 481 B1 (P 7565) hervor.

Im Prinzip lässt sich der Druckgradient, den das Ventil aufbaut, über den Spulenstrom einstellen. Allerdings ist hierzu eine aufwendige Kalibrierung notwendig. Hierzu werden, wie z.B. in der WO 01/98124 A1 (P 9896) beschrieben, Kennlinien für die Ventile ermittelt und in Abhängigkeit vom gewünsch-

- 2 -

ten Druckgradienten mit Hilfe der Kennlinien berechnete Sollströme eingestellt. Der Volumenstrom Q hängt demzufolge über die Kennlinie f vom Differenzstrom Δp und vom Strom I ab.

Die unveröffentlichte DE 103 21 783.5 (AT 14.5.03, P 10697, Gronau, Burkhard, Loos) beschreibt ein Lernverfahren für Ventilkennlinien von Analogventilen bzw. analogisierten Schaltventilen. Nach dem beschriebenen Verfahren wird eine Kalibrierung dieser Hydraulikventile vorgenommen, indem während des Betriebs der ABS-Bremsvorrichtung eine Ansteuerkennlinie oder entsprechende Korrekturgrößen zur Korrektur einer vorhandenen Ansteuer-kennlinie ermittelt wird/werden. Die Kennlinien oder Korrekturgrößen für das Ventil werden mittels eines Lernverfahrens ermittelt. Das Lernverfahren kann sich über mehrere Zyklen der Blockierschutzregelung hinweg erstrecken. In jedem geeigneten Zyklus wird mit Hilfe der aus dem aktuellen Zyklus ermittelten Parameter nach einer rekursiven Formel eine genauere Kennlinie oder eine genauere Korrekturgröße ermittelt. Zur Berechnung der genaueren Kennlinie oder Korrekturgröße werden die während einer Radregelung benötigten Druckaufbauzeiten gesammelt. Dann werden jeweils auf Grundlage der vorliegenden gesammelten Druckaufbauzeiten korrigierte Kennlinie oder Korrekturgrößen berechnet. Speziell wird mittels des Lernverfahrens für ein Ventil eine Korrekturgröße k gebildet, welche mit einer vorgegebenen Ansteuerkennlinie des Ventils zur Bildung einer korrigierten Ansteuerkennlinie verknüpft wird. Die Korrekturgröße k wird gebildet nach einer geeigneten rekursiven mathematischen Formel.

- 3 -

Nach den bekannten Verfahren werden also, bei bekanntem (gemessenen) Differenzdruck, anhand von Gradientenkennlinien Spulenströme eingeprägt und damit der Druckgradient eingestellt.

Es hat sich gezeigt, dass dennoch die sich ergebenden Kennlinien eine unerwünschte Streuung aufweisen, so dass die Einstellung des gewünschten Druckgradienten nicht hinreichend genau erfolgen kann. Hierdurch wird das Regelverhalten des Gesamtsystems negativ beeinflusst. Eine Verbesserung ergibt sich zunächst einmal dadurch, dass für jedes eine Fertigungslinie verlassendes Steuergerät individuell eine Kalibrierung der Ventile vorgenommen wird. Hierzu werden insbesondere Kennlinien mittels einer geeigneten Messeinrichtung aufgenommen und geeignete Kalibrierdaten, die aus den diesen Kennlinien gewonnen werden, an einen mit dem Steuergerät verbundenen oder verbindbaren Regler, insbesondere an einen darin enthaltenen elektronischen Speicher, übertragen. Die Genauigkeit dieser an sich bekannten Kalibriermethode ist jedoch für moderne Kfz-Regelungen immer noch nicht genau genug. Die Ursachen für die verbleibenden Streuungen der Kennlinien bzw. insbesondere deren Gradienten rühren überwiegend von den Toleranzen der Mechanik, z.B. der schwankenden Federkraft, und des magnetischen Feldlinienkreises (Luftspalt etc.) her.

Ziel der Erfindung ist es nun, auch ohne den Einsatz von zusätzlichen Sensorelementen oder elektronischen Bauelementen ein Verfahren anzugeben, welches zu einer genaueren Ansteuerung der weiter oben beschriebenen Magnetventile führt.

- 4 -

Gemäß dem Verfahren der Erfindung werden die erforderlichen Kennlinien oder Parameter zur Kalibrierung ohne die Verwendung von Druckbeaufschlagungen des Ventils ermittelt. Hierdurch entfällt beispielsweise die Druckbeaufschlagung während der Ermittlung der Kennlinien oder Parameter mittels einer pneumatischen oder hydraulischen Messanordnung, mit der gemäß dem Stand der Technik definierte Druckdifferenzen am zu messenden Ventil eingestellt werden. Die Erfindung betrifft also insbesondere ein Verfahren zur Ermittlung von besonders genauen Ventilkennlinien oder Parametern. Hierdurch ergibt sich unter anderem der Vorteil, dass ein hergestelltes Ventil bzw. eine ganze Hydraulikeinheit nicht, wie dies bisher erforderlich war, in einem Prüfstand individuell unter Verwendung von definierten Drücken ausgemessen werden muss. Es genügt nach dem Verfahren der Erfindung, dass eine elektronische Steuerung, die an das Ventil bzw. an die Hydraulikeinheit angeschlossen ist, die elektromechanischen Eigenschaften des Ventils ausmisst. Aus diesen Daten werden dann die erforderlichen Kennlinien oder Parameter berechnet. Dieses Verfahren bietet weiterhin den Vorteil, dass das Verfahren beliebig oft, insbesondere in regelmäßigen Abständen auch nach dem Einbau in ein Fahrzeug selbstständig durchgeführt werden kann. Hierdurch ist es möglich, dass sich das System in regelmäßigen Abständen neu kalibriert. Auf diese Weise ist es außerdem erstmals möglich, auch Verschleißerscheinungen oder etwaige Veränderungen der Anordnung auf Grund von äußeren Einflüssen, die nach der Herstellung der Anordnung auftreten, zu berücksichtigen. Die Kennlinien können also ohne eine Messapparatur durch den Regler, auch zum Zeitpunkt nach dem Einbau in ein Fahrzeug, selbsttätig bestimmt werden. Hierdurch kann vorteilhaft ein zusätzlicher Datenübertragungsschritt von einer sonst erforderlichen Mes-

sanordnung zur Ermittlung der Kennlinien in das Steuergerät entfallen. Zum Einstellen des Durchflusses mit den ermittelten Kennlinien wird lediglich eine geschätzte oder gemessene Druckdifferenz am Ventil benötigt. Ist beispielsweise wie üblich ein Drucksensor im Bereich des Tandemhauptzylinders vorhanden, kann der Differenzdruck auf übliche Weise aus dem Verlauf der druckbeeinflussenden Größen bestimmt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Ventil mit einer oder mehreren zusätzlichen Messelementen, insbesondere Messspulen zu versehen. Die Erfindung betrifft daher ein Ventil, welches mit einem oder mehreren zusätzlichen Messelementen versehen ist und ein Verfahren zum Einregeln der Öffnungsstellung und/oder des Durchflusses eines Ventils. Es kann aber auch die Stößelkraft eingeregelt werden. Mit Hilfe eines im Bereich des Ventils angeordnetet Messelements ist es möglich, innere physikalische Parameter des Ventils zu ermitteln und diese bei der Berechnung der Kennlinien zu berücksichtigen. Auf diese Weise kann auf besonders präzise Weise über die zuvor beschriebene Regelung die Stößelstellung oder die Stößelkraft des Ventils eingestellt werden. Hierdurch ist eine Einstellung des gewünschten Durchflusses durch das Ventil mit gegenüber dem Stand der Technik erhöhter Genauigkeit möglich. Zusätzlich ergeben sich jedoch auch Möglichkeiten zur Druckbestimmung aus diesen Größen, wie weiter unten noch beschrieben wird. Die oben erwähnten Toleranzen der Feder und des magnetischen Feldlinienkreises werden durch das hier beschriebene Verfahren dabei vorteilhafterweise weitestgehend eliminiert.

- 6 -

Als Alternative können außer der Spule prinzipiell alle magnetfeldabhängigen Sensoren (z.B. Hallsensoren, MR-Sensoren) verwendet werden, wenn sie den wirksamen magnetischen Fluss erfassen. Die Spulenlösung ist jedoch die preisgünstigste und genaueste Lösung.

Vorzugsweise wird gemäß dem Verfahren der Erfindung die Federkraft, und wenn erforderlich der maximale Stößelhub in einer Kalibrierungsroutine ermittelt. Diese Größen gehen in die Kraftberechnung ein.

Vorzugsweise wird nach dem Verfahren der Erfindung eine Messung des Magnetflusses durchgeführt. Die magnetische Kraft ist direkt abhängig vom magnetischen Fluss. Der Unterschied zu den bisher bekannten Verfahren besteht darin, dass nicht die magnetische Spannung (Durchflutung) die geregelte Größe ist, sondern der magnetische Strom (magnetischer Fluss), und dass nicht der Strom durch die Spule die bestimmende Größe ist, sondern der wirksame magnetische Fluss.

Durch das beschriebene Verfahren wird vorzugsweise der maximale Stößelhub des Ventils und insbesondere die Federkraft ausgemessen. Unter Hinzunahme des gemessenen Druckgradienten kann die Kraft-Weg-Kennlinie des Ventils genau definiert werden, und damit lässt sich der Durchfluss des Ventils regeln oder steuern.

Daraus resultiert eine genaue Durchflussregelung bzw. Steuerung.

Vorteile der Erfindung:

- Entfall der Kalibrierung am Bandende,
- Stößelkraft ist unabhängig vom Stößelweg,
- Federtoleranzen werden ausgeglichen,
- Die magnetischen Toleranzen (Luftspalt) werden ausgeregelt bzw. kompensiert,
- Permanente Rekalibrierung möglich,
- Ermöglicht Austauschkonzept in der Werkstatt.

Neben dem obigen betrifft die Erfindung weiterhin die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kontrolle oder Verbesserung der Fertigungsqualität, in dem der Stößelhub und/oder die Federkraft während oder unmittelbar nach der Fertigung der Ventile bzw. des hydraulischen Ventilblocks gemessen wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird neben der weiter oben beschriebenen elektrischen Kalibrierung eine zusätzliche mechanische Justage durchgeführt. Bei der mechanischen Justage wird beim Zusammenbau des Ventils der Restluftspalt und der Stößelhub des Ventils allein über die Betrachtung einer elektrischen Kenngröße des Ventils eingestellt. Dies erfolgt insbesondere dadurch, dass der magnetische Widerstand bei geschlossenem Ventil und der magnetische Widerstand bei geöffnetem Ventil gemessen wird. Daran kann sich dann in einem späteren elektrischen Kalibrierverfahren eine Messung anschließen, wie sie weiter oben beschrieben ist. In diesem Fall wird dann durch diese spätere Messung nur noch im wesentlichen eine Toleranz in der Charakteristik der Rückstellfeder ausgeglichen.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels an Hand von Figuren.

Es zeigen

- Fig. 1 eine Ausführung ohne zusätzliche Messspule (vorzugsweise in der Anwendung als Flusssteuerung),
- Fig. 2 eine Ausführung mit Messspule (vorzugsweise in der Anwendung als Flussregelung),
- Fig. 3 ein stromlos offenes Analog/Digitalventil (SO-AD-Ventil) im Querschnitt und
- Fig. 4 eine Ausführung mit Messspule entsprechend Fig. 2 jedoch mit einem Beispiel, bei dem eine Regelung des magnetischen Widerstandes durchgeführt wird.

Der magnetische Fluss in der Schaltung von Fig. 1 induziert beim Abschalten der Ventilschule eine Spannung, deren Integral proportional dem magnetischen Fluss ist.

Dabei gelten folgende Zusammenhänge in den Beispielen der Figuren 1 und 2:

Magnetische Kraft:

$$F_{\text{magn}} = \frac{1}{2 * \mu_0 * A} * \Phi^2$$

μ_0 = Permeabilitätskonstante / Luft

A = Ankerfläche

Φ = Magnetischer Fluß

Magnetischer Fluss:

$$\Phi = \frac{\Theta}{RM_{\text{gesamt}}}$$

$\Theta = i * N$

I = Erregerstrom

N = Windungszahl

RM_{gesamt} = gesamter magnetischer Widerstand

und

$$U = -N * \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = -\frac{1}{N} \int_0^t U dt$$

Aufgrund der Messung des magnetischen Flusses zu einem Zeitpunkt nach Abschalten der Ventilstromspule ist dieser Aufbau nur für eine Flussssteuerung geeignet. Trotzdem werden auch hier die Federtoleranzen und die Magnetkreistoleranzen ausgeglichen. Der geforderte Druckgradient wird an die Recheneinheit geschickt. Der Differenzdruck ist der Recheneinheit bekannt (Drucksensor im Eingangskreis). Die Federkraft, der maximale Stoßhub und die Abhängigkeit des magnetischen Flusses vom Ventilstrom wurden in einer Messroutine ermittelt und können jederzeit rekaliibriert werden. Damit sind alle einwirkenden Kräfte und die berechnete Kraft/Weg-Funktion des Ventilstößels bekannt; es lässt sich der für den geforderten Druckgradienten erforderliche Ventilstrom berechnen.

- 10 -

Fig. 2 stellt den zweiten Ansatz der Erfindung mit einem zusätzlichen Spulenregelkreis dar. Der magnetische Fluss wird hier mit einer Messspule erfasst. Die Messspule ist so angeordnet, dass sie den wirksamen magnetischen Fluss durch Joch und Anker erfasst. Beim Einschalten und Abschalten der Ventilspule wird in der Messspule eine Spannung induziert, deren Integral proportional dem magnetischen Fluss ist. Der geforderte Druckgradient wird an die Recheneinheit (μC) geschickt. Der Differenzdruck ist der Recheneinheit bekannt. Der Differenzdruck kann zum Beispiel mittels eines Drucksensors im Eingangskreis und der Historie des Ventilbetriebs (Bilanzierung der Zuflüsse/Abflüsse) errechnet werden. Die Federkraft und der maximale Stößelhub werden in einer Messroutine ermittelt. Die Messroutine lässt sich jederzeit, auch während des Fahrzeugbetriebs, wiederholen (Rekalibrierung). Damit sind alle einwirkenden Kräfte und die Kraft/Weg - Funktion des Ventilstößels bekannt; es lässt sich der erforderliche magnetische Fluss berechnen. Über den Spulenstrom wird der Spulenstrom so lange erhöht, bis der magnetische Fluss im Magnetkreis dem errechneten Fluss entspricht. Es handelt sich also bei dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel um eine Stößelkraftregelung, bei der die Stößelstellung von den Druckverhältnissen am Ventil abhängig ist.

Fig. 4 stellt schematisch ein weiteres Beispiel für einen Regelkreis dar, bei dem die Stößelposition direkt eingeregelt wird. Der magnetische Widerstand RM_{gesamt} setzt sich zusammen aus dem magnetischen Widerstand des geschlossenen Ventils und dem magnetischen Widerstand des Lufstpalts (siehe rechter Teil von Fig. 4). Der magnetische Widerstand des geschlossenen Ventils lässt sich durch eine einmalige

- 11 -

Messroutine bestimmen. RM_{gesamt} ist der Quotient aus $Teta (= I * N)$ und dem magnetischen Fluss Φ . Die Größe RM_{Luft} ergibt sich aus dem Stößelhub dividiert durch $\mu_0 * A$ ($\mu_0 =$ Permeabilitätskonstante, $A =$ Querschnittsfläche). Φ wird bestimmt über den an der Messspule ermittelten zeitlich integrierten Spannungsverlauf. Da RM_{gesamt} proportional zum Stößelhub ist, führt die dargestellte Regelung von RM_{gesamt} zu einer direkten Regelung des Stößelhubs. Dabei setzt die Recheneinheit den geforderten Druckgradienten in einen bestimmten Strömungsquerschnitt bzw. Stößelhub um und damit in einen magnetischen Sollwiderstand RM . Grundlage für die Berechnung sind an sich bekannte hydrodynamische Kennwerte der Ventilbaureihe, der ventilspezifische magnetische Widerstand und der Differenzdruck. Gleichzeitig wird der aktuelle Ventilstrom bestimmt und mit der Windungszahl der Erregerspule multipliziert. Das Produkt ist die Durchflutung $Teta$ (magnetische Spannung). Die aktuelle magnetische Spannung wird durch den aktuellen magnetischen Fluss dividiert. Das Ergebnis ist der aktuelle magnetische Widerstand. Es wird ein Soll-Istwert-Vergleich durchgeführt und daraus die Stellgröße I (Spulenstrom) generiert.

Das Verfahren gemäß Beispiel in Fig. 4 bietet darüber hinaus die Möglichkeit, ohne zusätzliche Drucksensoren in den einzelnen Drucksensoren den Druck in den an das Ventil angeschlossenen Fluid-Leitungen zu bestimmen. Bei konstanter Stößelposition (die Stößelposition wird eingeregelt!) kann aus der aktuell bei dieser Stößelposition gemessenen Stößelkraft in Verbindung mit bekannten geometrischen Größen des Ventils der Druck auf an sich bekannte Weise ausgerechnet werden.

In einem Kraftfahrzeugbremssystem wird der Eingangsdruck z.B. durch die Bremspedalbetätigung bestimmt. Bekanntlich weicht zum Beispiel während eines ABS-Regelvorgangs der Eingangsdruck vom Druck in den einzelnen, zu den Bremszylindern führenden Hydraulikleitungen ab. Da im Prinzip nach dem vorhergehenden Messverfahren lediglich der am Ventil herrschende Differenzdruck bestimmbar ist, kann es erforderlich sein, den Vordruck sensorisch zu bestimmen (z.B. Drucksensor am Tandemhauptzylinder). Der Vordruck kann jedoch auch rechnerisch über Modellbetrachtungen bestimmt werden. Des weiteren ist es möglich, durch Betrachtung bestimmter Betriebszustände des Bremssystems den Druck auch ohne genaue Kenntnis des Vordrucks zu bestimmen. Auf diese Weise ist eine vollkommen drucksensorlose Druckbestimmung realisierbar. Hierdurch werden in einem ABS-ESP-Bremsensteuergerät erhebliche Kosten für zusätzliche Drucksensoren eingespart. Durch die genaue Kenntnis der Radzylinderdrücke kann erheblich genauerer Bremsenregelung durchgeführt werden. Hierdurch wird sowohl ein Antiblockiersystem als auch ein Fahrdynamikregelungssystem mit geringem Fertigungsaufwand verbessert. Durch die gezielte und geführte Bewegung der Ankerstellung lassen sich auch störende Geräusche während eines Regelvorgangs, die von den Ventilen erzeugt werden, vermeiden oder verhindern.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung oder mechanischen Justage mindestens eines elektrisch ansteuerbaren Magnetventils zum Regeln des Durchflusses eines Fluids, insbesondere in einer hydraulischen Vorrichtung zur Bremsenregelung, bei dem die Druckbeeinflussung, welche das Ventil erzeugt, durch die Art der elektrischen Ansteuerung des Ventils im Voraus auch ohne die Verwendung von Drucksensoren bestimmt werden kann, in dem Kennlinien oder Parameter für das Ventil ermittelt werden, so dass vermittels der Kennlinien oder Parameter ein Solldurchfluss in Abhängigkeit von der Stromstärke eingestellt werden kann, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kennlinien oder Parameter ohne die Verwendung von Druckbeaufschlagungen des Ventils ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass für die Berechnung der Kennlinie oder Parameter der Ventilöffnungsweg und/oder die Federkraft bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Ventilöffnungsweg und/oder die Federkraft mit für die Baureihe des Ventils festgelegten individuellen ventilcharakteristischen Größen mathematisch verknüpft wird und daraus der Druckgradient bei einem Spulenstrom von $I = 0$ berechnet wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass der funktionale Zusammenhang des Druckgradienten in Abhängigkeit vom Ventilstrom I nach der Formel $Q = Q_0 + m * I$ angenähert

wird, wobei der Druckgradient Q_0 bei einem Strom von $I = 0$ Ampere durch Messung des Ventilöffnungswegs und/oder der Federkraft bestimmt ist.

5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Kalibrierung des Ventils die Kennlinie/n oder Parameter des Ventils in einer mit der hydraulischen Vorrichtung verbundenen oder verbindbaren elektronischen Regeleinrichtung gespeichert werden.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stößelkraft oder der magnetische Widerstand RM bestimmt wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass aus der Stößelkraft die Stellung des Ventilstößels bestimmt wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die an der Ventilschule als Folge einer Stromänderung induzierte Spannung gemessen und insbesondere integriert wird.
9. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Fluss Φ oder der magnetische Widerstand RM über eine Regelschleife eingeregelt wird.
10. Ventil, insbesondere hydraulisches Bremsensteuerungsgerät mit mindestens einem elektromagnetisch ansteuerbarem Hydraulikventil, umfassend eine elektromagnetische Spule

- 15 -

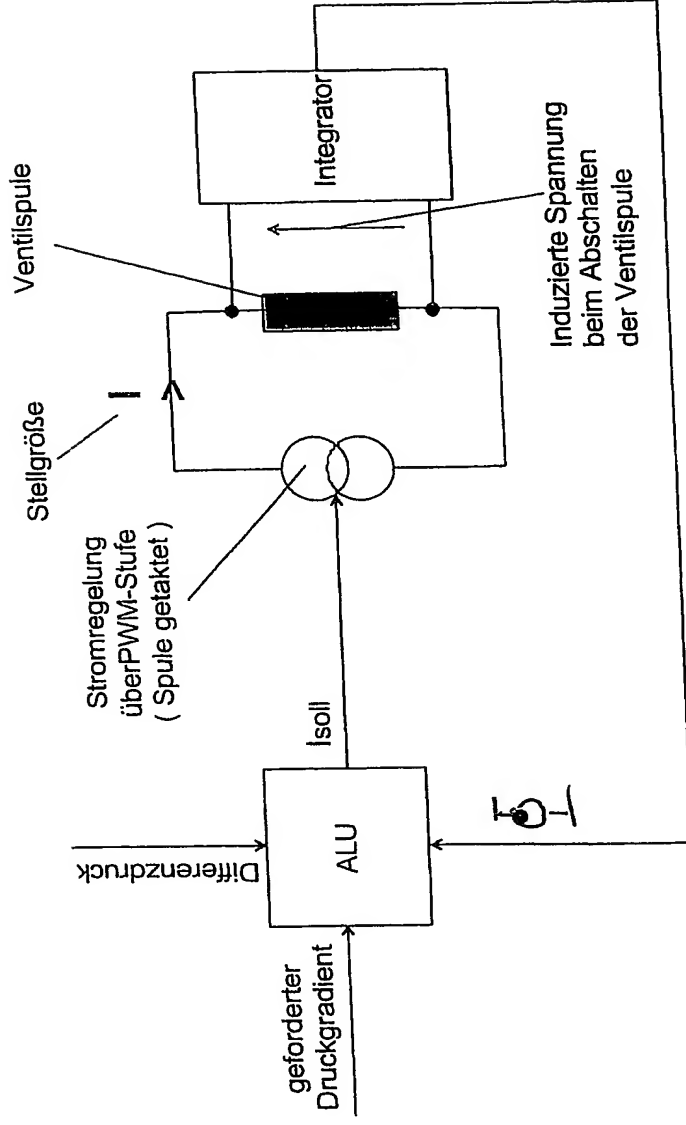
und einen durch einen Anker bewegten Stößel, wobei der Anker durch den Strom beeinflusst zum Öffnen und/oder Schließen des Ventils bewegt wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Ventil mit einem oder mehreren zusätzlichen Messelementen versehen ist.

11. Ventil nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messelement eine Messspule ist.
12. Ventil nach Anspruch 10 oder 11, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messelement den magnetischen Fluss mindestens einer Ventilkomponente bestimmt.
13. Verfahren zum Einregeln der Öffnungsstellung und/oder des Durchflusses eines elektrisch ansteuerbaren Ventils, insbesondere eines Ventils gemäß mindestens einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Bereich des Ventils mindestens ein Messelement, insbesondere mindestens eine Messspule angeordnet ist, und das Messsignal des Messelements zum Einregeln des Ventils verwendet wird (Spulenregelkreis).
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messsignal des Messelements eine Spannung ist, welche insbesondere aufintegriert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch **gekennzeichnet**, dass aus der aufintegrierten Spannung der Magnetfluss und daraus die magnetische Kraft und/oder der Stößelhub bestimmt wird.

- 16 -

16. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis Anspruch 15, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stellgröße der Ventilstrom ist.
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9 oder nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Spulenstrom getaktet ist.
18. Verfahren zur Druckmessung eines Fluids mittels eines elektromagnetisch angesteuerten Ventils ohne zusätzliche Drucksensoren, insbesondere in einer hydraulischen Vorrichtung zur Bremsenregelung, dadurch **gekennzeichnet**, dass mit einem elektrischen Regelkreis die Stößelposition geregelt wird und aus der auf den Stößel wirkenden Kraft, welche elektrisch messbar ist, der Druck in der Fluidleitung und/oder die Druckdifferenz im Ventil ausgerechnet wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Ventil oder ein Bremsensteuergerät gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12 eingesetzt wird.

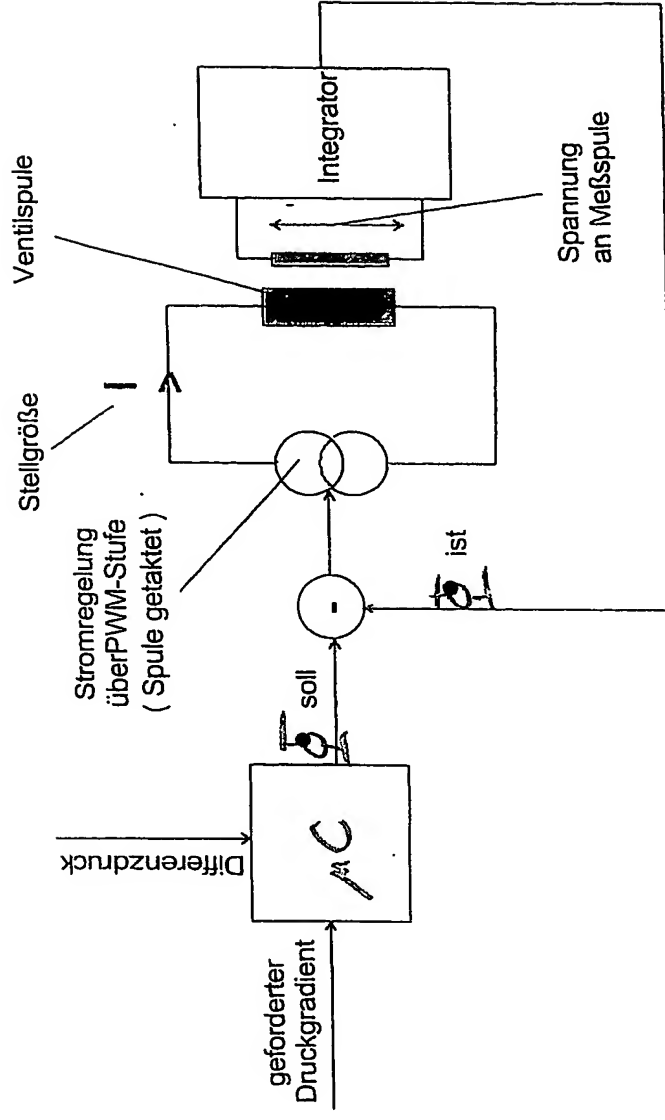
Aufbau des Steuerkreises ohne Messspule



Stößelkraft - Regelung / Steuerung
Steuerkreis Magnetfluß

Fig. 1

Aufbau des Regelkreises mit Messspule



Stößelkraft - Regelung / Steuerung
Regelkreis Magnetfluß

Fig. 2

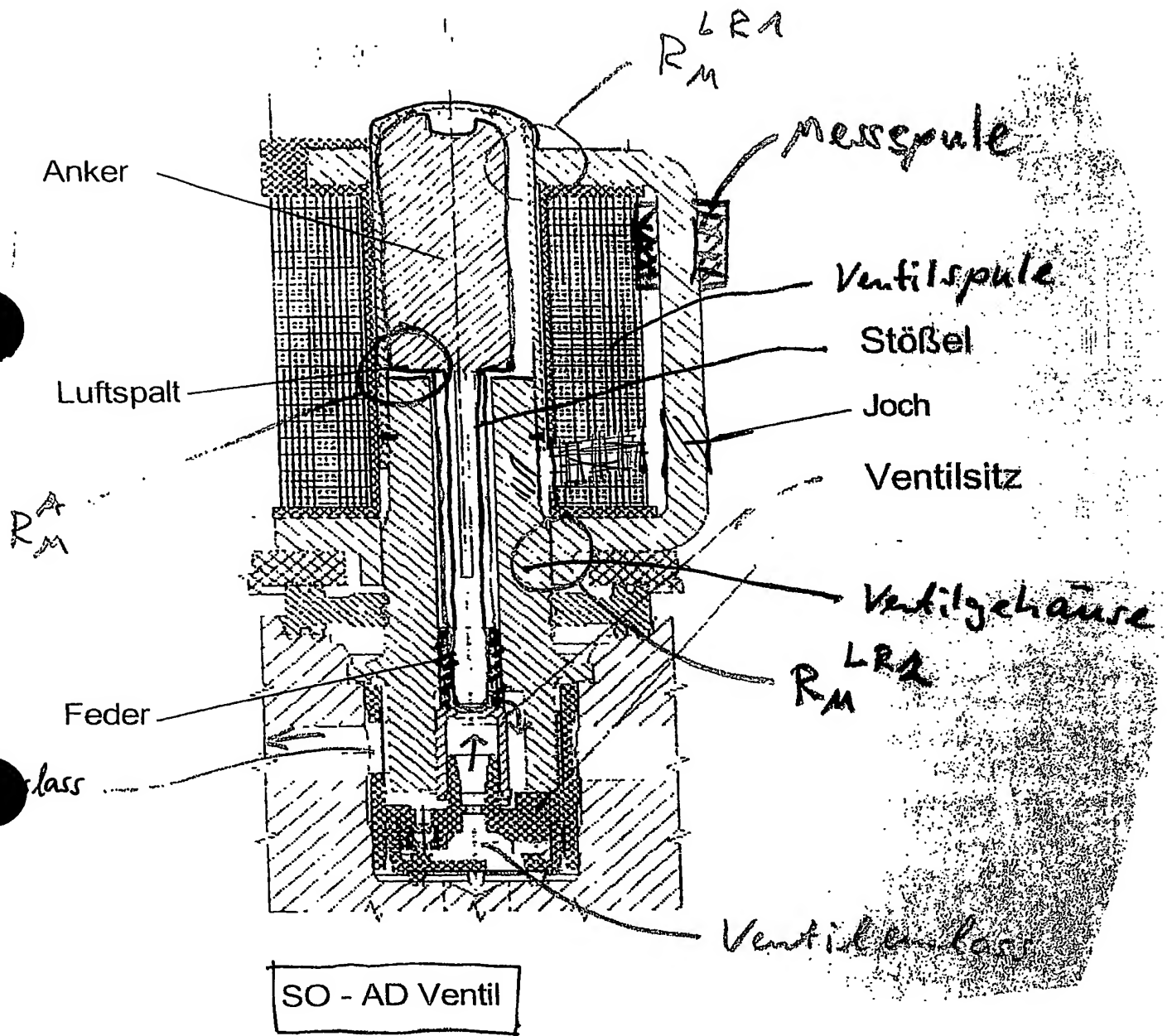


Fig. 3

Aufbau des Stößelhub - Regelkreises (konstante Stößelposition):

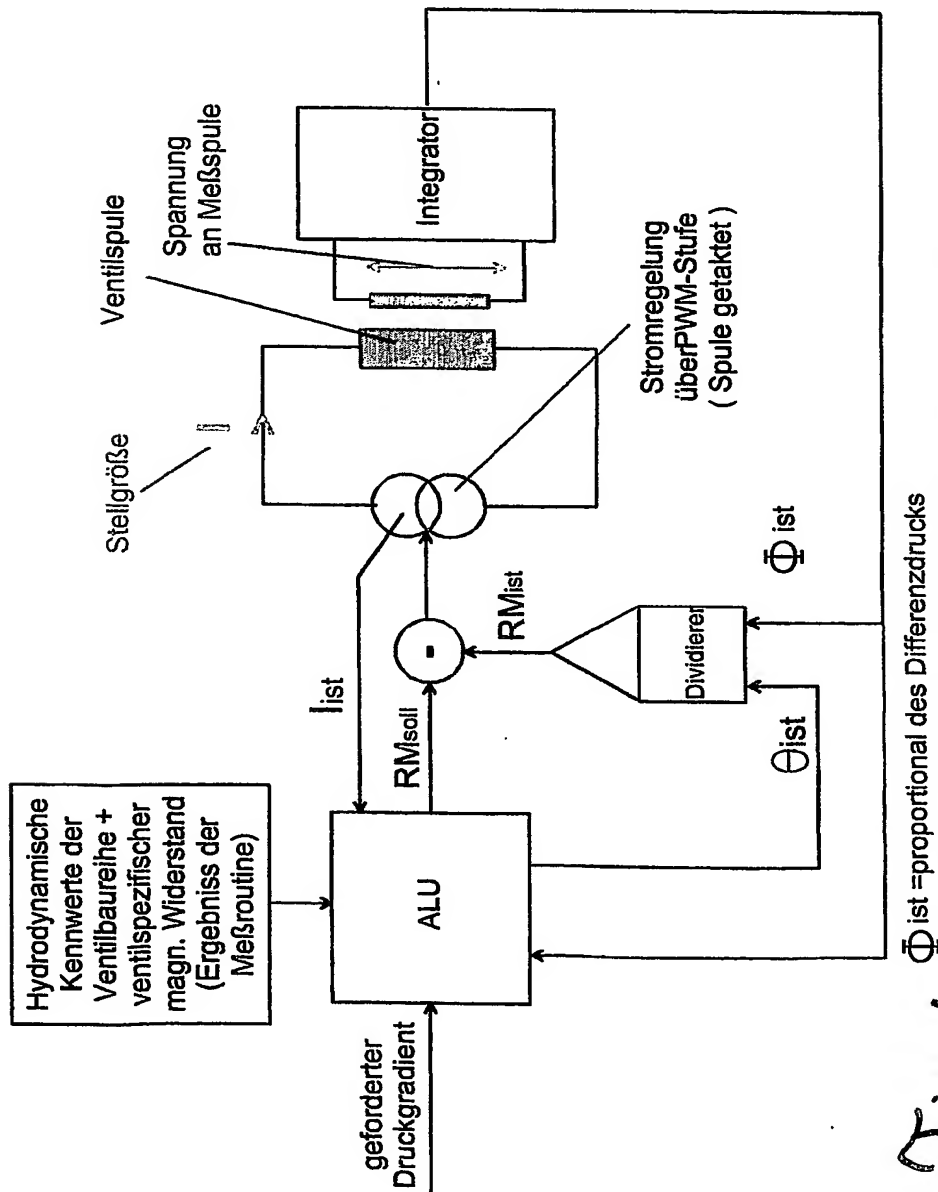


Fig. 4

$$RM_{gesamt} = RM_{Ventil\ geschlossen} + RM_{Luft}$$

$$RM_{gesamt} = \frac{\Theta_{ist}}{\Phi_{ist}}$$

$$\Theta_{ist} = I \times N$$

Φ_{ist} = proportional des Differenzdrucks, bei konstantem Stößelhub

$$RM_{Luft} = \frac{I}{\mu_0 \times A}$$

$$I = \text{Stößelhub}$$

Φ_{ist} = proportional des Differenzdrucks